

COUPLING FACTOR ADJUSTMENT OF THE ACS MODULE BY USING THE REFLECTOR

Koichiro Hirano^{1,A)}, Hiroyuki Ao^{A)}, Hiroyuki Asano^{A)}, Nobuo Ouchi^{A)}, Koji Takata^{B)},
Fujio Naito^{B)}, Kazuo Hasegawa^{A)}, Takatoshi Morishita^{A)}, Yoshishige Yamazaki^{B)}

^{A)} Japan Atomic Energy Agency,

2-4 Shirakata-shirane, Tokaimura, Ibaraki, 319-1195

^{B)} High Energy Accelerator Research Organization,

1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801

Abstract

An Annular Coupled Structure (ACS) linac has been developed for the high-energy part (190 MeV- 400 MeV) of the J-PARC Linac. We have studied the coupling factor adjustment for the first ACS module by using a reflector in the wave guide. Furthermore, the RF window is installed in the position which is not related to voltage standing wave. This paper describes calculation results of the reflector's position becoming optimum coupling.

反射体を用いたACS空洞の結合度調整

1. はじめに

J-PARCリニアックでは、190MeVから400MeVまでの高エネルギー加速部にACS (Annular Coupled Structure)を有する加速空洞を用いる。SDTL下流部に、2台のACSバンチャ空洞、21台のACSモジュール及び最低1台のデバンチャーを設置する計画である。これまで、ACSバンチャ空洞および第1番目のACSモジュール (ACS1モジュール) の大電力試験^{[1] [2]}を実施し、共振周波数972MHz、空洞電力600kW、パルス幅600 μ s、繰返し50Hzの条件で、設計値4.3MV/mを上回る加速勾配が得られた。RF電力はブリッジ中央セルの側面に開けられたアイリスから高周波窓 (以下、RF窓という) を通して、空洞内に供給される。第1番目のモジュールでは、クライストロン側から見たアイリス結合の結合係数は2.0であった。ビーム負荷も考慮した最適の結合度は1.4であったが、製作誤差を考慮して大きな値を採用した。しかし、空洞の入力電力に余裕をもたせるため、反射体を使用して、空洞の結合係数を最適値に調整することを

検討している。

さらに、RF窓は定在波の影響を受け、その上昇温度が増加する場合があるため、高周波窓を無反射状態と同じパワロスになるように設置することも検討している。本稿では、RF窓の設置位置を考慮し、反射体を用いて結合係数を調整する計算について報告する。

2. ACSモジュール

ACSモジュールは17個の加速セルを有する加速タンクが2台とブリッジ空洞とで構成される。ブリッジ空洞の9個のセルの中で、励起される5個のセルにそれぞれチューナーが付いており、この5連チューナーを用いて加速セル全体の周波数を約600kHz 変えることができる。加速タンクの真空排気は、真空マニホールドから行う。さらに、ブリッジ空洞とRF窓の間に図2に示す真空引口導波管を設置して、真空排気の増強を行う予定である。

3. 反射体計算

HFSS (高周波三次元電磁界シミュレータ) を用いて電磁場数値解析を行い、空洞の結合度が変化する反射体の位置を求めた。また、セラミックス部のパワロスを反射が無い場合のパワロスで規格化し、定在波の影響を受けない高周波窓の位置を求めた。

幅10mm、高さhの反射体を図2に示す3通りの場所に挿入する。空洞のアイリス開口部はテーパー

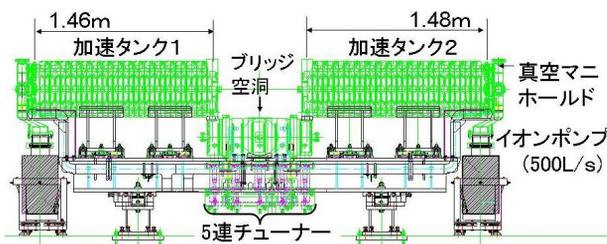


図1: 第1ACSモジュール

¹ E-mail: hirano.koichiro@jaea.go.jp

で導波管に接続されている。導波管とテーパの接続点を計算の基準位置とした。Aはこの基準位置から空洞に最も近いフランジに挿入する反射体までの距離、Bは真空引口導波管のRF窓に近いフランジに挿入する反射体までの距離、CはRF窓の大気フランジ側に挿入する反射体までの距離、DはRF窓中心までの距離とした。

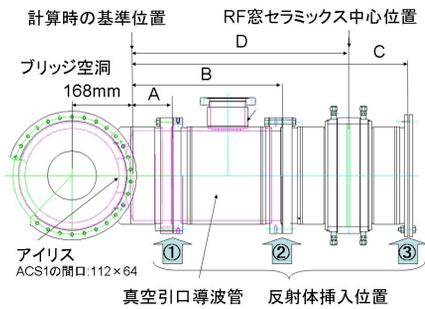


図2：反射体挿入位置

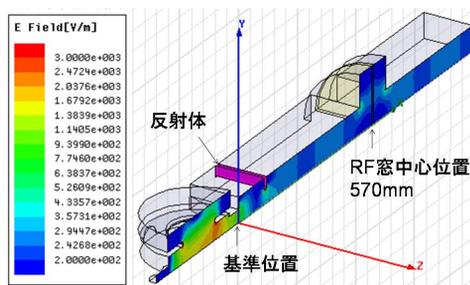


図3：定在波分布計算、1/4体系入力電力1W

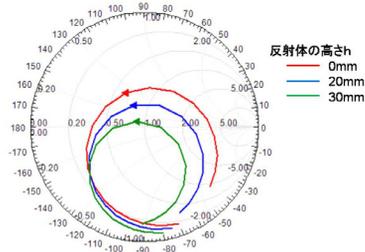


図4：スミスチャート

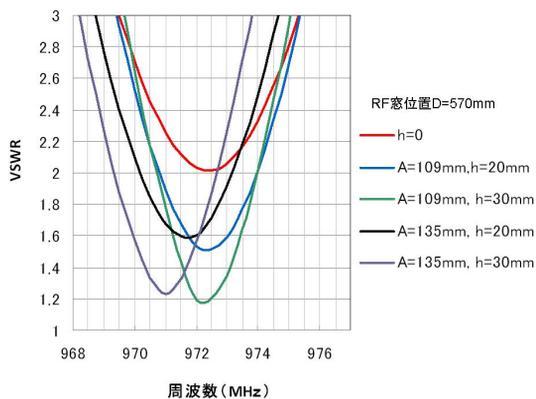


図5：反射体の高さを変えたときのVSWR

VSWR=2となる実際に近い反射パターンを得るために、モジュール全体の壁損をブリッジ空洞の1セルに置き換え、計算時の空洞の電気伝導率を調整した。このとき、空洞の共振周波数が972MHzになるようにチューナー挿入量を調整し、VSWR=2で空洞が密結合になっていることを確認した。

3.1 空洞-真空引口導波管間 (挿入①)

容量性反射体を図3のように導波管のE面 (間口の長辺側の面) のA=109mmに設置した。反射体の高さに応じて、密結合の状態、VSWRは変化することが、図4及び図5よりわかる。また、A=135mmの位置では、反射体によって共振周波数がずれるため、チューナーで共振周波数を調整しないとVSWRを低減できない。

3.2 真空引口導波管-RF窓間 (挿入②)

真空引口導波管の長さを確保するため、誘導性反射体を導波管のH面のB=420mmに設置した。図6に示すように反射体の高さに応じてVSWRは変化する。図7に示す空洞と反射体に挟まれた領域では、電界は反射体が無い場合より高くなり、真空引口導波管と反射体を含む領域の導波管表面のパワロス率は反射体が無い場合の1.3倍となった。

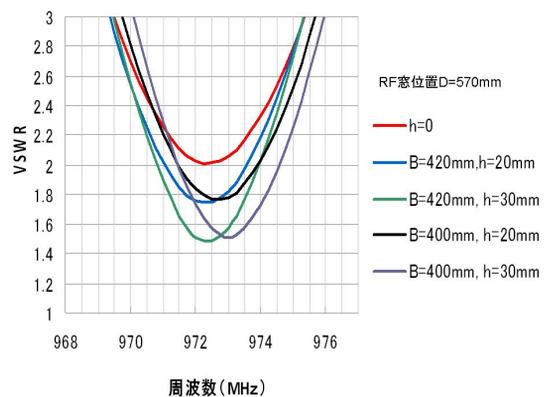


図6：反射体の高さを変えたときのVSWR

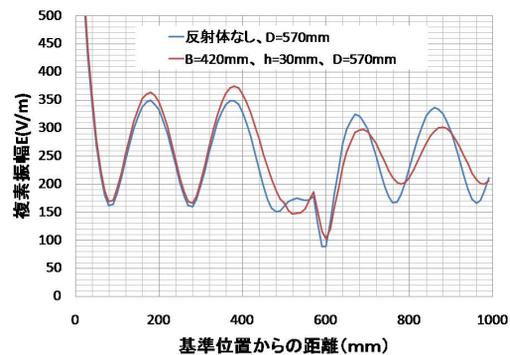


図7：反射体の有無による定在波の違い

3.3 RF窓の大気側（挿入③）

高さ20mmの容量性反射体がE面のC=800mmにある場合、図8のようにVSWRを2から1.5へ調整できる。RF窓が空洞と反射体に挟まれた領域にあるため、図9のように位置変化に対するRF窓部の電場の変化が大きい。

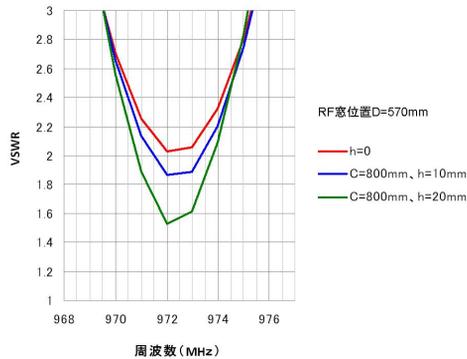


図8：反射体の高さを変えたときのVSWR

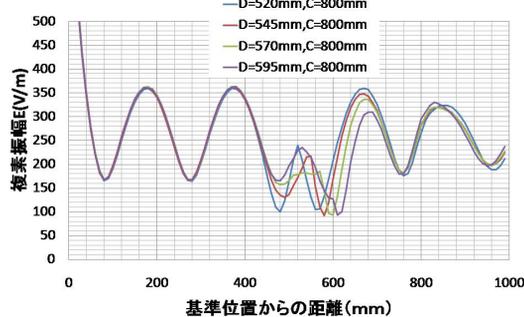


図9：窓位置を変化させたときの定在波の様子

3.4 定在波測定

ACS1モジュールの定在波を実測して、計算値と比較した。図10に示す体系で、RF窓の大気側フランジにスペーサを挿入し、アンテナ位置をずらしながら、S21 (dB) を測定した。このとき、銅ガスケットに取り付けたアンテナがずれないように、その両側から導波管で挟みこんで固定した。共振周波数が972MHzになるようにチューナー挿入量を39.63mmに設定した。導波管内の最大電界で規格化した値を図11に示す。電界のピーク値を比較した結果、実際の値は、計算値から0.6%空洞側に寄った位置になったが、これは計算誤差を考慮すればよく一致していると言える。

3.5 RF窓パワロス

3.1項から3.3項のRF窓のパワロスを図12に示す。反射が無い場合のパワロスと同じ窓位置は、計算で573mmとなった場合、空洞側に4mm寄った場所になる。RF窓が反射体と空洞の間に挟まれた③の場合、

窓位置に対するパワロスの変化は敏感になり、パワロスは①の場合の1.3倍になった。

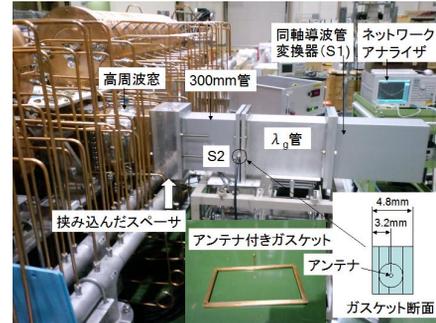


図10：定在波測定体系

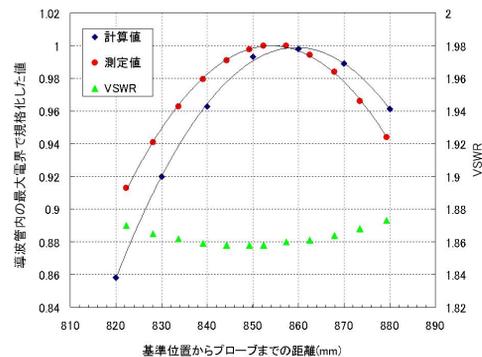


図11：導波管内の電界分布

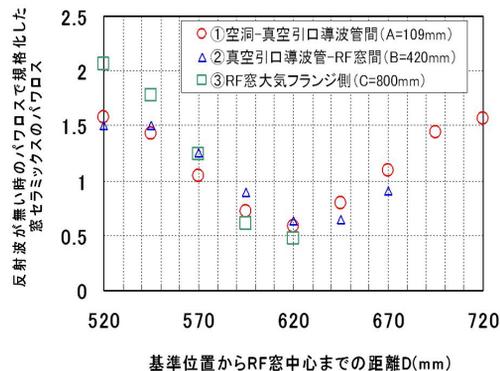


図12：窓位置に対する窓セラミックスのパワロス

4. まとめ

空洞の結合度が変化する反射体の位置、および、定在波の影響を受けないRF窓の位置を電磁場数値解析により求めた。製作された空洞の結合度に応じて、反射体の高さを設定すれば、最適な結合度が得られ、これにより空洞入力電力に1割程度余裕をもたせることができる。今後、反射体の接続方法や挿入位置等を決定していく予定である。

参考文献

- [1] H. Ao, et al., “J-PARC用ACS空洞初号機の大電力試験”, 加速器学会, 2006.
- [2] K. Hirano, et al., “J-PARCリニアックの第1ACSモジュールの大電力試験”, 加速器学会, 2008.